

Морфология, генезис и современная динамика полигональных меловых ландшафтов в долине реки Итчашкан

А. Г. Рябуха¹ ✉, И. Д. Стрелецкая², Д. Г. Поляков¹

¹Институт степи Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация
(460000, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11)

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация
(119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1)

Аннотация. Цель – изучение морфологии и современного функционирования меловых полигонов для подтверждения роли современных и реликтовых мерзлотных процессов в их происхождении.

Материалы и методы. Для изучения морфологии и современного функционирования меловых полигонов были проведены наземные маршрутные и полустационарные исследования в летний и зимний период.

Результаты и обсуждение. Морфология меловых полигонов, их размер и расположение в плане, внутреннее строение, изменение свойств меловых пород по глубине свидетельствуют о роли криогенных процессов. Комплекс признаков реликтовых криогенных процессов: полигональный рельеф со стороны полигона ~5 м, грунтовые клинья, инволюции и криотурбации, криогенное дробление в грунтовых клиньях, увеличение монолитности меловых пород с глубиной на участках меловых пятен. Комплекс признаков современных криогенных процессов: свежий микрорельеф, большое количество меловой муки и следы морозной сортировки на поверхности и по склону, сезонное льдовыделение и пучение в центральных частях меловых пятен в условиях высокой предзимней влажности пород.

Выводы. Полученные данные позволили впервые обосновать палеомерзлотный генезис меловых полигонов. Установлено, что меловые полигоны являются разновидностью реликтового криогенного микрорельефа, сформировавшегося в валдайский криохрон в условиях криоаридного климата, многолетней мерзлоты, морозобойного растрескивания грунтов и роста полигонально-жилых льдов.

Ключевые слова: Подуральское плато, меловые отложения, меловые полигоны, криогенные процессы, неоплейстоцен, морозобойные трещины, криотурбации, палеомерзлота.

Источник финансирования: Статья подготовлена в рамках темы государственного задания «Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем», № АААА-А 21-121011190016-1, гранта РФФИ № 20-05-00556.

Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды» и темы государственного задания «Эволюция криосферы при изменении климата и антропогенном воздействии» № 121051100164.

Для цитирования: Рябуха А. Г., Стрелецкая И. Д., Поляков Д. Г. Морфология, генезис и современная динамика полигональных меловых ландшафтов в долине реки Итчашкан // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2022, № 3, с. 57-68. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2022/3/57-68>

ВВЕДЕНИЕ

На территории Восточно-Европейской равнины в районах близкого залегания от поверхности мело-мергельных пород верхнемелового возраста сформировались своеобразные литогенные природно-территориальные комплексы – меловые

ландшафты. Термин «меловые ландшафты» был введен в научный оборот Михно В.Б. на основе учета природных особенностей территорий, сложенных с поверхности меловыми породами [1]. Меловые ландшафты широко распространены на территории Среднерусской, Калачской, Приволж-

© Рябуха А. Г., Стрелецкая И. Д., Поляков Д. Г., 2022

✉ Рябуха Анна Геннадьевна, e-mail: annaryabukha@yandex.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

ской и Подольской возвышенностей, Общего Сырта и Подуральского плато. Они разнообразны по структуре, генезису и формам рельефа. Среди них встречаются меловые горы, каньоны, меловые пустоши с разреженной кальцефитной растительностью, меловые боры, карстовые озера и болота, промышленные карьеры и отвалы и др.

Михно В. Б. выделил несколько генетических разновидностей меловых ландшафтов в зависимости от природных процессов (карстовых, эрозионных, суффозионных, оползневых, абразионных, эоловых и мерзлотных), сыгравших ведущую роль в их формировании [1]. К ландшафтному комплексу, в формировании рельефа поверхности которых участвовали криогенные процессы, им были отнесены меловые полигоны, распространение на юго-востоке Восточно-Европейской равнины. Они представляют собой чередование многоугольников размером ~5 м в поперечнике и разделяющих их ложбинообразных

микроразнообразий, образующих в плане полигональную сеть (рис. 1). Особенностью меловых полигонов является наличие в центральной части незадернованных белых пятен меловой породы диаметром ~2 м. Форма и размер меловых пятен придает им сходство с пятнами-медальонами в зоне многолетней мерзлоты. Данные ландшафтные комплексы являются уникальными для степной зоны и остаются практически не изученными во многих аспектах, а их генезис до настоящего времени не имеет однозначной интерпретации и является предметом дискуссий. Формирование меловых полигонов связывают с современными криогенными процессами, которым сопутствуют химическое растворение и механическое разрушение мело-мергельных пород подземными водами или с увеличением объема меловой муки при ее сезонном смачивании [7, 9, 10, 17]. Обе гипотезы основывались на особенностях резко континентального климата и сезонного промерзания.

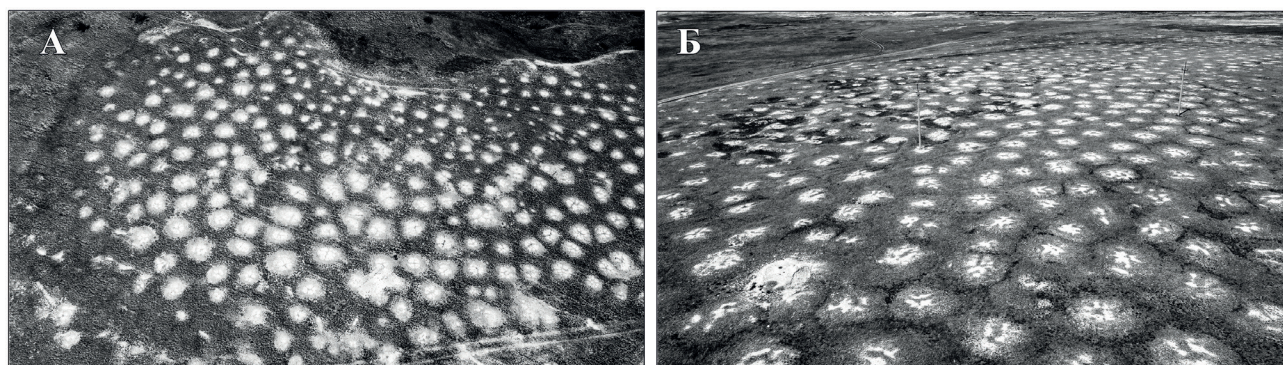


Рис. 1. Фотографии полей меловых полигонов с беспилотного летательного аппарата:

А) в долине реки Итчашкан ($51^{\circ} 8'0.27''\text{C}$; $55^{\circ}43'43.54''\text{B}$);

Б) в долине ручья Акбулак ($51^{\circ} 8'11.71''\text{C}$; $55^{\circ}37'16.59''\text{B}$)

[Fig. 1. Photographs of fields of chalky polygons from an unmanned aerial vehicle:

A) in the valley of the Itchashkan River ($51^{\circ} 8'0.27''\text{C}$; $55^{\circ}43'43.54''\text{B}$);

B) in the valley of the Akbulak stream ($51^{\circ} 8'11.71''\text{C}$; $55^{\circ}37'16.59''\text{B}$)

Поля меловых полигонов широко распространены на юго-востоке Восточно-Европейской равнины в пределах Подуральского плато, в бассейнах рек Утва, Илек, Большая и Малая Хобда, Есенанкаты, Оленты, Булдурты, Калдыгайты, Жаксыбай, Киил, Уил и их многочисленных притоков и Общего Сырта – в бассейнах рек Чаган, Деркул, Большой Камышлак, Бузулук, Чижа-1ая, Чижи-2ая и др. Детальный анализ космических снимков прочих районов Восточно-Европейской равнины с близким залеганием меловых пород (Среднерусской, Калачской, Приволжской и Подольской возвышенностей) аналогичных ландшафтных комплексов не выявил.

На территории Оренбургской области меловые полигоны распространены в пределах

Общего Сырта (Новосергеевский район) и Подуральского плато (Соль-Илецкий и Акбулакский районы) (рис. 2). Ландшафтные комплексы меловых полигонов региона ранее описаны Климентьевым А.И., Чибилевым А.А., Михно В.Б., Мусихиным Г.Д. [7, 9, 10, 17]. Полевыми исследованиями выявлены участки поверхности с приподнятыми меловыми полигонами высотой до 0,5 м и участки с плоскими полигонами [12].

Целью статьи стало изучение морфологии и современного функционирования меловых полигонов для подтверждения роли современных и реликтовых мерзлотных процессов в их происхождении.

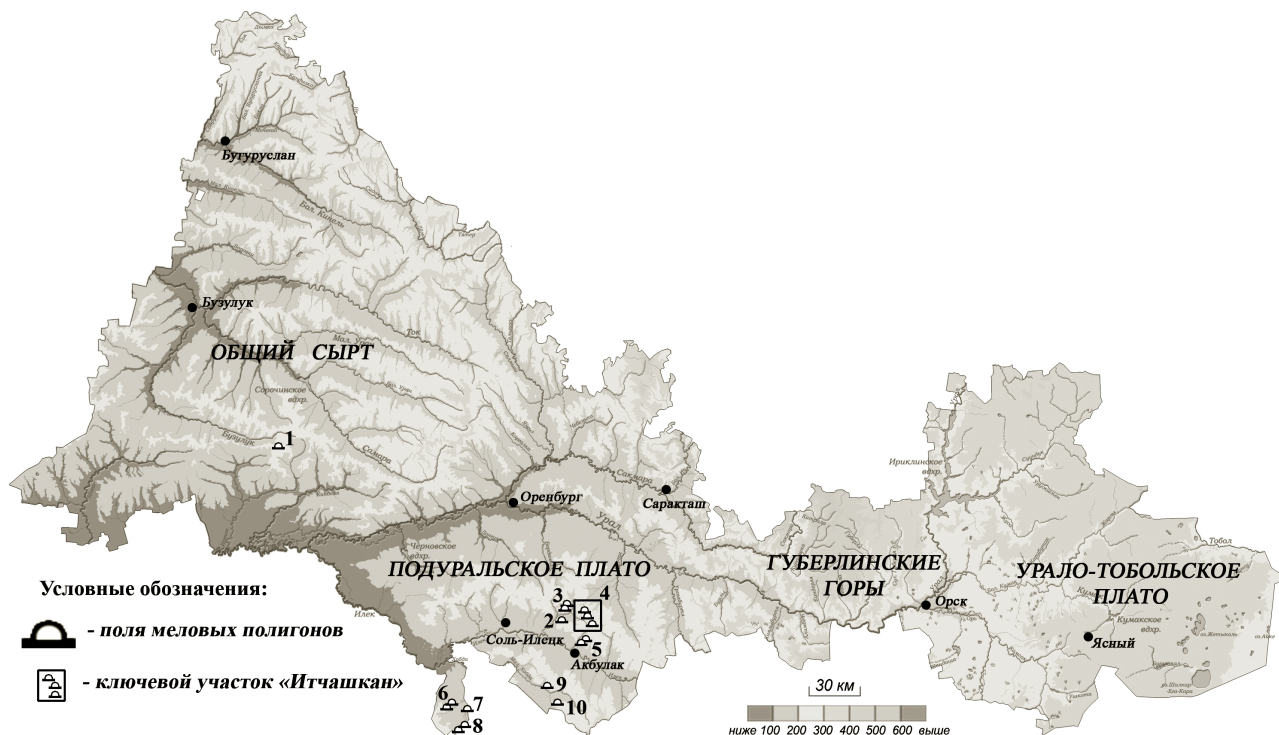


Рис. 2. Карта Оренбургской области с ареалами распространения меловых полигонов в долинах рек: 1 – река Бузулук (Старобелогорские), 2 – река Акбулак (Новопавловские), 3 – река Тытас, 4 – р. Итчашкан, 5 – река Белая речка, 6 – ручей Акбулак (Троицкие), 7 – река Ишкарган, 8 – река Акпай, 9 – река Малая Хобда, 10 – река Иккырашан

[Fig. 2. Map of the Orenburg region with areas of the chalky polygons distribution in river valleys: 1 – Buzuluk River (Starobelogorsky), 2 – Akbulak River (Novopavlovsky), 3 – Tytas River, 4 – Itchashkan River, 5 – White River, 6 – Akbulak River (Troitsky), 7 – Ishkargan River, 8 – Akpay River, 9 – Malaya Khobda River, 10 – Ikkyrashan River]

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В 2017-2021 годах комплексные полевые исследования проводились на ключевом участке «Итчашкан», расположенном в долине реки Итчашкан (бассейн реки Илек), в 6 км севернее села Покровка Акбулакского района Оренбургской области.

Территория исследования находится на крайнем юго-востоке Восточно-Европейской равнины в пределах возвышенных эрозионно-денудационных пластово-ярусных равнин Подуральского плато, расчлененных многочисленными реками и балками на небольшие по площади водораздельные массивы [15]. Абсолютные высоты участка ~215-220 м над уровнем моря. Поля меловых полигонов приурочены к верхнемеловым отложениям маастрихтского яруса (C₂m), представленным белым песчим мелом. Меловые породы распространены в регионе локально, заполняя эрозионные и тектонические понижения в рельефе [8]. Характерной особенностью верхнемеловых отложений является развитие элювиального слоя в верхней части раз-

реза, представляющего собой дресву, с обломками мела, окаменевшими остатками морской фауны и меловой «мукой». Мощность горизонта не выдержана и колеблется от нескольких сантиметров до нескольких метров [10]. Разрез меловых пород вскрывается в стенке Покровского мелового карьера, расположенного рядом с ключевым участком. Бурый суглинок мощностью ~1 м, подстилается меловым элювием, состоящим из мелового щебня и меловой «муки», с глубиной элювий представляет собой массив щебнистых обломков, который далее переходит в плотный монолитный мел.

Климат района континентальный. Средняя годовая температура составляет +4 °С. Зима холодная и суровая (ср. T_{января} -15 °С), лето – сухое и жаркое (ср. T_{июля} 22 °С). Среднегодовое количество осадков ~ 350 мм. Примерно 60-70% годового количества осадков выпадает в период с мая по август. Максимум осадков отмечается в июле, минимум – в феврале. Зональный почвенный покров представлен черноземами текстурно-карбонатными под бедно-разнотравными типчаково-ковыльными степями

и их эдафическими вариантами. Глубина зимнего промерзания составляет 1,2-1,4 м, высота снежного покрова около 0,3 м [6].

Для изучения морфологии и современного функционирования меловых полигонов были проведены наземные маршрутные и полустационарные исследования в летний и зимний период. Во время полевых исследований на ключевом участке проводились ландшафтные и геоморфологические исследования. Изучены морфометрические (диаметр, длина, ширина, относительные превышения и уклоны микроэлементов) и морфографические (форма в плане и профиле, выраженность в рельефе) параметры меловых полигонов. Выявлены особенности их положения в мезорельефе (абсолютная высота, уклон, экспозиция поверхности и т.д.). Почвы изучались в траншее, заложенной по профилю между соседними пятнами меловых пород. Проведено детальное морфологическое изучение почв, составлены описания вмещающих пород, сделаны зарисовки и фотофиксация. Собрана коллекция образцов меловых пород для аналитических исследований. В зимний период в почвенных шурфах определялись глубина промерзания, льдистость пород и фиксировались криотекстуры в отложениях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По космическим снимкам высокого разрешения, доступным через сервисы SAS. Планета (<http://www.sasgis.org/>) и Google Earth (<https://www.google.ru>), в долине реки Итчашкан выявлено три изолированных ареала местонахождений полей меловых полигонов, приуроченных к правобережным склонам р. Итчашкан и ее притоков (рис. 3). На снимках высокого разрешения меловые полигоны дешифрируются как обособленные изометрические белые пятна или многоугольники (обычно пяти или шестиугольники), имеющие регулярное распространение и образующие в плане сеть, с размером решетки ~5 м, разделённые темными узкими полосами, маркирующими заросшие растительностью ложбинообразные понижения. Выделенные по космическим снимкам ареалы подтверждены полевыми наблюдениями и съёмкой с беспилотного летательного аппарата (DJI Mavic Mini).

Выделенные ареалы I ($51^{\circ} 7'41.58''\text{C}$; $55^{\circ}43'49.57''\text{B}$) и II ($51^{\circ} 8'0.27''\text{C}$; $55^{\circ}43'43.54''\text{B}$) приурочены к слабонаклонным (1-2) склонам речных долин южной экспозиции, где денудационными процессами близко к поверхности выведены меловые породы. Каждый ареал состоит из нескольких разобщенных участков, тянущихся вдоль склона и состоящих в среднем из 150 – 350

меловых полигонов. Участки имеют четко выраженные границы и разделены плоскими ложбинообразными понижениями (шириной в среднем 40-80 м), заросшими растительностью. В рельефе меловые полигоны расположены строго упорядоченно, образуя полигональный рисунок.

Ареал III ($51^{\circ}8'44.58''\text{C}$; $55^{\circ}44'1.01''\text{B}$) приурочен к водораздельному меловому массиву, склоны которого изрезаны оврагами и балками на гряды, распадки и отдельные останцы. Участки меловых полигонов приурочены к южным и юго-восточным склонам меловых гряд и останцев. Крутизна склонов, занятых меловыми полигонами, увеличивается до $3-5^{\circ}$. Ареал состоит из девяти разобщенных участков-останцев серповидной формы.

Структура участков в пределах ареалов представлена чередованием плоских и приподнятых меловых полигонов, в центре которых располагаются лишённые растительности белые пятна меловой породы и задернованных ковыльно-типчаковой растительностью межполигональных понижений (рис. 4А). Пятна меловой породы имеют округлую или неправильную форму, диаметром от 1,5 до 2,5 м. На поверхности пятен, сложенных тонкодисперсной меловой мукой, в большом количестве встречаются меловой щебень и обломки белемнитов. Расстояние между центрами соседних пятен составляет ~4-6 (с медианой 5 м) м. Граница между пятном и задернованной поверхностью полигона четкая и неровная. Пятна меловой муки разбиты на отдельные сегменты системой заросших растительностью пониженных полос, которые при пересечении в центре мелового пятна, образуют площадку диаметром до 0,5 м, заросшую растительностью. В сухой период поверхность меловых пятен очень плотная и крепкая, разбита сетью трещин усыхания, образующих полигоны со стороной 0,1-0,15 м.

Различаются участки с плоскими пятнами, приуроченными к субгоризонтальным и слабонаклонным ($1-2^{\circ}$) поверхностям и участки с приподнятыми куполообразными меловыми пятнами, высотой до 0,3 м, которые встречаются на склонах крутизной $3-5^{\circ}$. Причем с увеличением крутизны склона куполообразные меловые пятна, приобретают ступенчатую форму, представленную горизонтальной площадкой и более крутым уступом во фронтальной части (рис. 4Б).

На плоской поверхности пятен, сложенных меловой мукой, встречаются мелкие бугорки (высотой до 5-10 см), рост которых связан с сезонным промерзанием, льдовыделением и пучением. Организа-

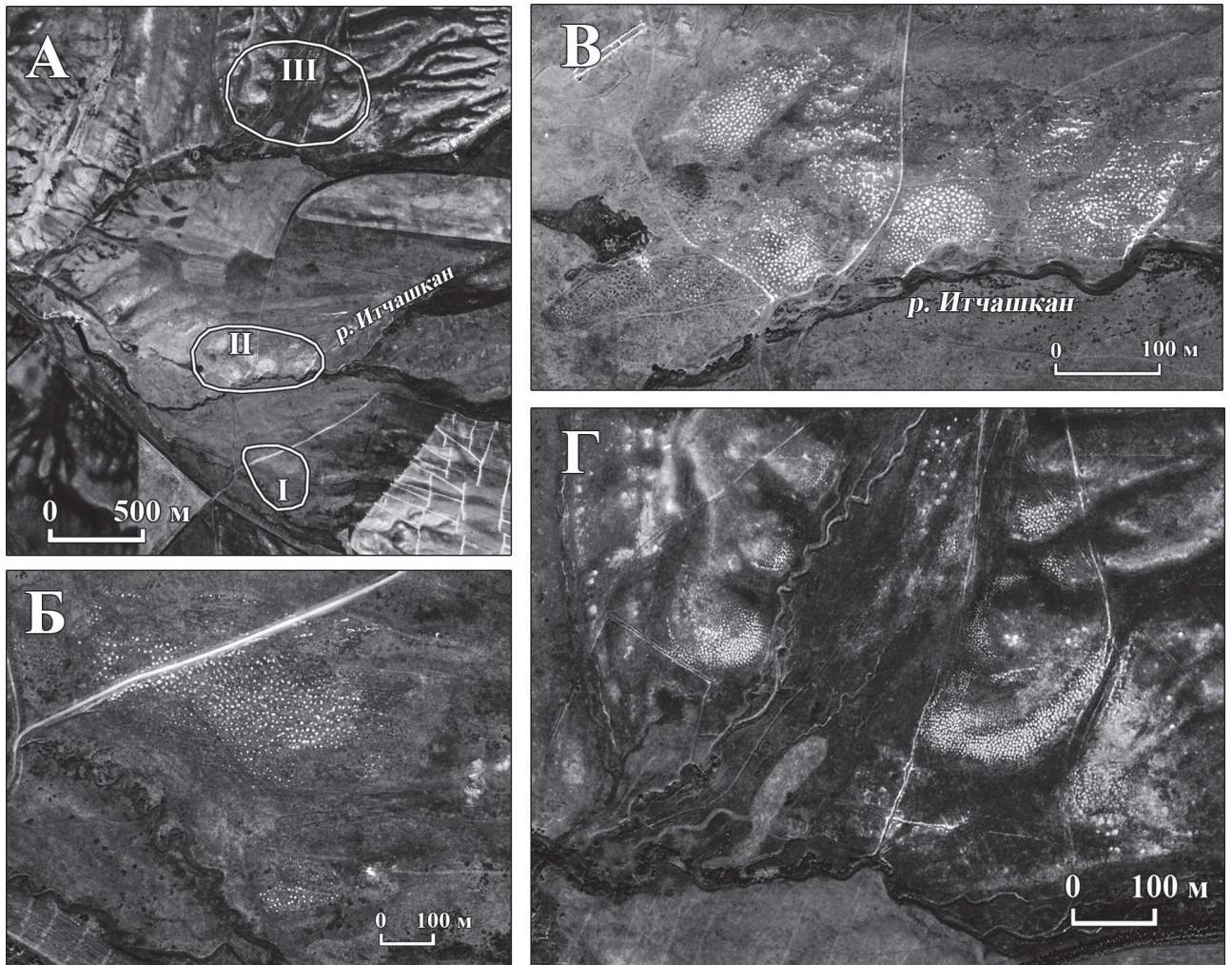


Рис. 3. А – Ареалы распространения полей меловых полигонов в долине верхнего течения реки Итчашкан, Б – ареал I, В – ареал II, Г – ареал III (Google Earth)

[Fig. 3. A – Areas of distribution of the chalky polygons fields in the valley of the upper reaches of the Itchashkan River, Б – area I, В – area II, Г – area III]

ция обломков меловых пород на поверхности пятен определяется процессами морозной сортировки.

Ложбинообразные понижения, шириной около 1-1,5 м и глубиной 0,05-0,10 м, разделяющие

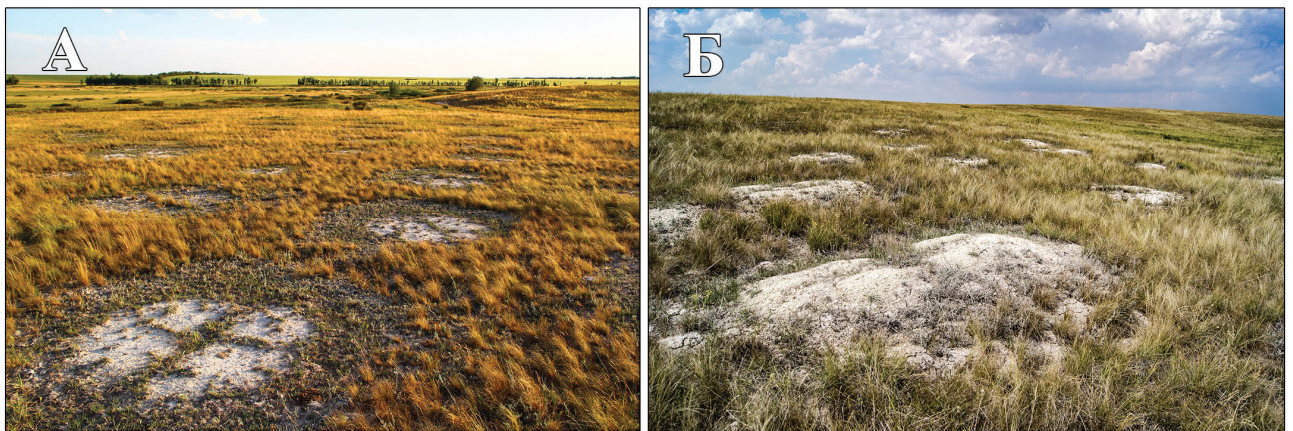


Рис. 4. Фотографии меловых полигонов в долине реки Итчашкан: А) плоские меловые пятна (ареал II); Б) приподнятые меловые пятна (ареал III)

[Fig. 4. Photographs of the chalky polygons in the Itchashkan river valley: А) flat chalky spots (area II); Б) raised chalky spots (area III)]

меловые полигоны, слабо выражены в рельефе, но хорошо читаются на аэрофотоснимках и местности по более густому и яркому ковильно-типчак-овому растительному покрову.

Геологический разрез полигонального микро-рельефа участка «Итчашкан» изучался в траншее, заложенной через ложбину и меловые пятна. Протяженность траншеи ~4 м, глубина – 1,2 м (рис. 5).

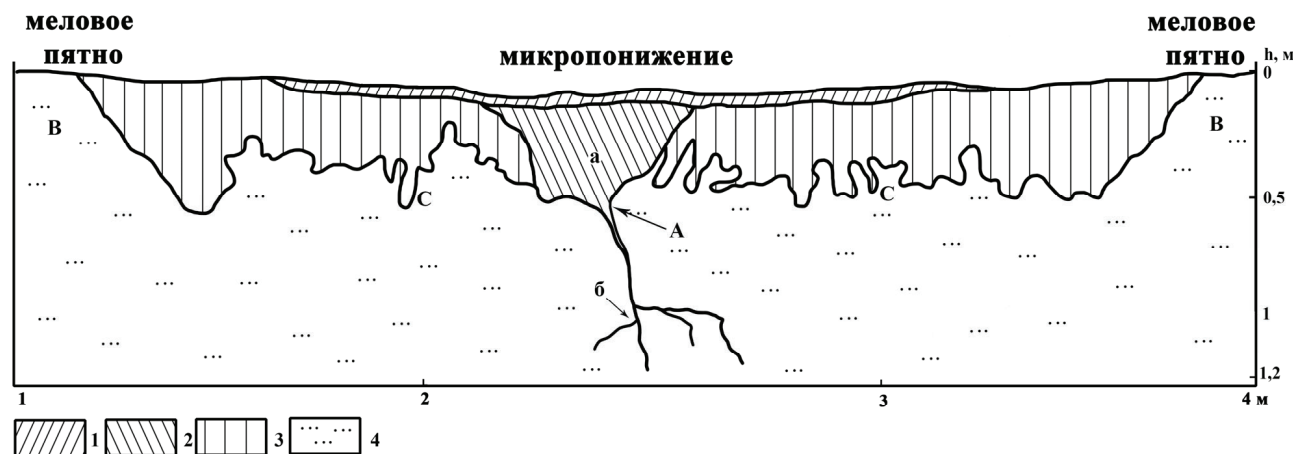


Рис. 5. Схема стенки траншеи на участке с меловыми полигонами: 1 – дернина, 2 – гумусированный пылеватый суглинок, 3 – буровато-коричневый суглинок, 4 – тонкодисперсный меловой материал с включениями мелового щебня, А – грунтовый клин, а) расширенная часть грунтового клина, б) «хвосты» грунтового клина, С – турбации, В – диапировидные внедрения мелового материала

[Fig. 5. The scheme of the trench wall on the site with chalky polygons: 1 – turf, 2 – humusified powdery loam, 3 – brownish-brown loam, 4 – finely dispersed chalk material with inclusions of chalk rubble, А – ground wedge, а) expanded part of the ground wedge, б) «tails» of the ground wedge, С – turbations, В – diapirous embeddings of chalk material]

В траншее вскрывается двухчленное, турбированное строение пород, нарушаемое грунтовыми клиньями в центральной части траншеи под ложбинообразными понижениями и восходящими диапировидными внедрениями измельченного мелового элювия, в центральных частях полигонов, образующими на поверхности меловые пятна.

Между понижениями и меловыми пятнами верхний слой разреза представлен буровато-коричневым уплотненным суглинком с тонкоплитчатой структурой. Меловой щебень в суглинистом слое практически отсутствует. Граница с нижележащим слоем резкая, турбированная, с взаимными внедрениями слоев. С глубины ~0,4 м залегает тонкодисперсный меловой материал с обильными включениями мелового щебня различного размера. В нижней части траншеи крупные, обломки мела образуют сплошную массу, практически лишённую меловой муки. Граница дезинтегрированной толщи и монолитной визуализируется за счет включений крупных ожелезненных пятен 0,04-0,07 м через 0,15 м. До глубины 1,0 м в породе также встречаются нитевидные и еле различ-

имые (менее 0,1 мм) пятна ожелезнения, образующие сетку по структурным отдельностям. Структура плитчатая, толщина отдельностей 3-4 мм, с глубиной она возрастает до 5-6 мм.

В центральной части траншеи, в понижении между пятнами, под дерновым 0,08 м слоем вскрыт хорошо выраженный на общем светлом фоне плотных пород мела, клин высотой 1,15 м, заполненный гумусированным пылеватым материалом. Грунтовый клин состоит из двух частей: расширенной верхней до глубины 0,45 м, и более узкой, которая распадается на несколько концов – «хвостов». На глубинах от 0,6 до 0,85 м толщина клина 0,05-0,07 м, глубже толщина 0,01 м. Рыхлый пылеватый материал, заполняющий грунтовую жилу, хорошо освоен биотой: до глубины 0,85 м здесь находится несколько «кротовин», в большом количестве присутствуют корни растений. В прикопках, заложенных на соседних участках в микронизациях, были вскрыты похожие клиновидные грунтовые структуры.

Характерной особенностью вскрытой толщи являются диапировидные внедрения мелового

материала, прорывающие буровато-коричневый суглинок и поднимающиеся практически вертикально в центре полигонов. Их выход на дневную поверхность маркирован образованием меловых пятен. Диapiroвидные внедрения состоят из тонкодисперсного мелового материала, плитчатой структуры (толщина плиток 3-4 мм) с включениями мелового щебня различного размера.

Исследования сезонной динамики меловых полигонов современного излияния разжиженной меловой массы в центральных частях полигонов ни весной после оттаивания, ни летом после сильных дождей не выявили. Современное функционирование меловых полигонов связано с криогенным разрушением меловых пород до фракции глины, льдовыделением и пучением меловых пятен в условиях высокой предзимней влажности в набухающих водоудерживающих породах, глубокого сезонного промерзания. Меловые пятна, лишённые растительности и сложенные тонкодисперсной меловой мукой, промерзают с образованием сегрегационного льда (рис. 6А). Криогенная текстура пород верхних горизонтов слоистая и слоисто-сетчатая, создаваемая повторяющимися через 3-4 мм шлирами льда толщиной 1-1,5 мм. С глубиной расстояние между шлирами увеличивается до 5-6 мм. В породах, слагающих микропонижения криотекстура массивная, что связано с их лучшей дренированностью и более медленным промерзанием.

На поверхности меловых пятен в результате процессов морозного пучения образуются бугорки высотой 0,02-0,03 м, диаметром около 0,01 м (рис. 6Б). Бугорки маркируют выход на поверхность восходящих снизу-вверх языков внедрения влажного тонкодисперсного мелового материала, испытывающего интенсивные процессы морозного пучения. Бугорки разбиты дилатационными трещинами (трещины напора), которые имеют радиальный рисунок. Весной после вытаивания шлиров льда бугорки оседают и нивелируются.

Глубокое зимнее промерзание приводит не только к дифференцированному морозному пучению вершин бугров, но и вымораживанию и криогенной сортировке крупнозема. Процессы вымораживания связаны с осенним и весенним ночным промерзанием и дневным оттаиванием пород, вызывающими поднятие вверх мелового щебня и вынос его на поверхность из масс тонкодисперсного мелового материала. Важную роль в этом процессе играет образование и рост под камнями ледяных шлиров, выталкивающих камен-

ные обломки (рис. 6В). Возвращению камней на прежние позиции препятствует просачивание под них мелкозема [2].

Каменные обломки, «вымороженные» на сильно увлажнённую, слабовыпуклую поверхность полигона, постепенно смещаются к его периферии. Это связывают с воздействием стебелькового льда (сросшиеся, стеблевидные кристаллы льда), который вырастает на поверхности полигона из пор увлажнённого грунта в морозные ночи. Будучи эфемерными образованиями, днем прекращающими свое существование, ледяные иглы, тем не менее, участвуют в дифференциации материала: они вырастают перпендикулярно к щитовидно выпуклой поверхности и расталкивают обломки в направлении от центральных незадернованных частей полигона, к его периферии [16].

Весной оттаявшая поверхность меловых пятен приобретает серый цвет, влажная и вязкая. При высыхании порода становится твердой и растрескивается на сеть полигонов. Осенью при первых заморозках на поверхности меловых пятен появляется налет кристаллической соды (рис. 6Г).

В пределах современной почвы мы наблюдаем следы криогенных процессов, что не удивительно в условиях резкоконтинентального климата, маломощного снежного покрова и глубокого сезонного промерзания почв. Однако формирование некоторых криогенных признаков не может быть объяснено современным климатом, а свидетельствует о более суровом климате и нахождении пород в многолетнемерзлом состоянии в прошлом. Данные криогенные признаки сформировались, по всей видимости, в поздннеоплейстоценовое время.

Диapiroподобные внедрения, складки и изгибы, вскрытые в траншее, соответствуют криотурбациям, образовавшимся при более глубоком, по сравнению с современным, сезонном промерзании и оттаивании пород, приводившем к перемещению и внедрению горизонтов друг в друга. В центральных частях полигонов, как наиболее ослабленных зонах, криотурбации мелового материала достигали поверхности и изливались, образуя пятна меловой породы.

Грунтовые клинья, приуроченные к межполигональным понижениям, являются реликтами морозобойного растрескивания, что подтверждается: 1) их двухъярусным строением, с расширенной верхней частью, толщина которой свидетельствует о глубине деятельного слоя в прошлом; 2) характерными многочисленными «хвостами»,

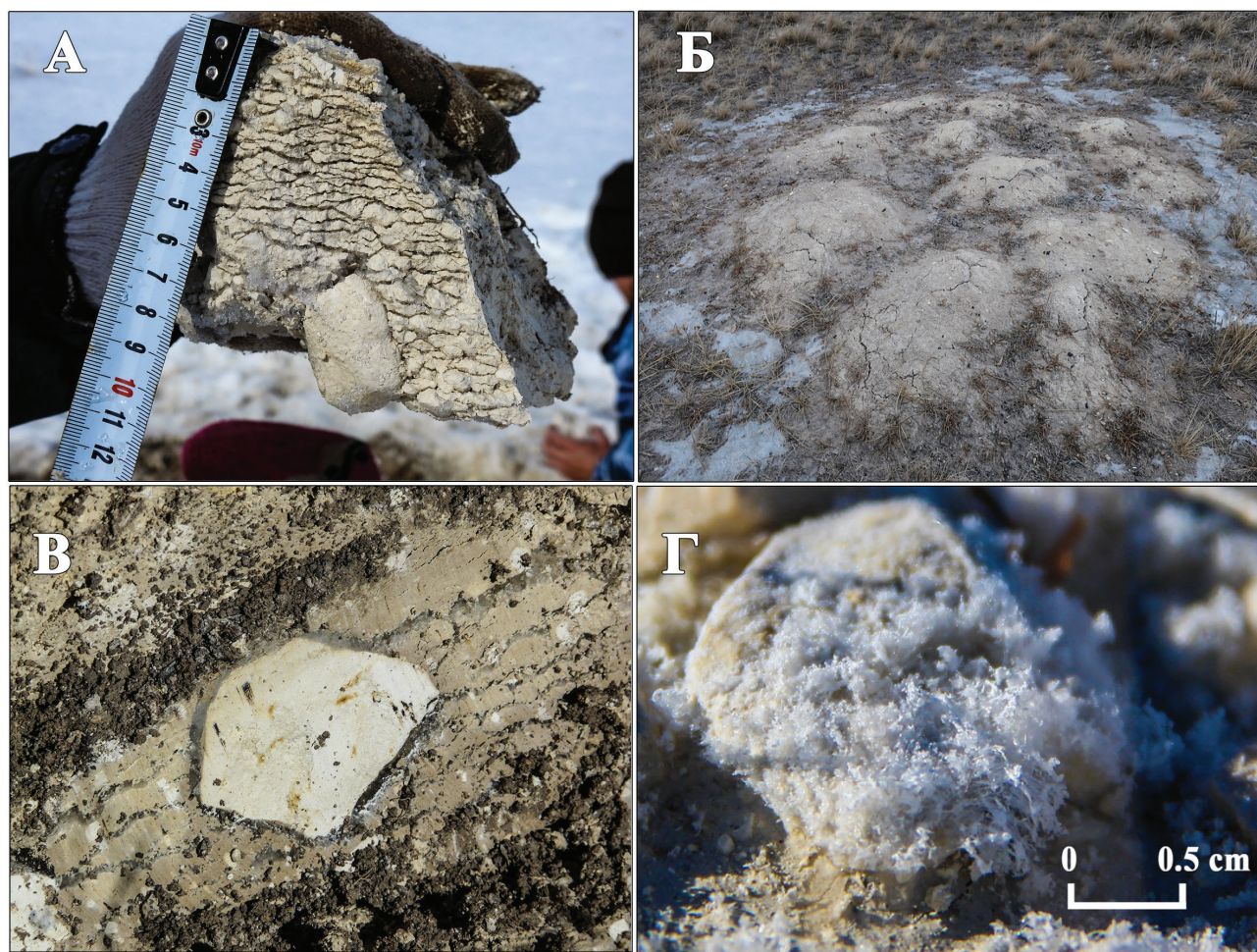


Рис. 6. А) Слоистая криотекстура верхних горизонтов меловых пятен; Б) Бугорки пучения на поверхности мелового пятна; В) Меловой щебень, окруженный ледяной каймой; Г) Кристаллы соды на меловом щебне [Fig. 6. А) Layered cryotexture of the upper horizons of chalky spots; Б) Tubers of bundling on the surface of the chalky spot; В) Chalky stone surrounded by an ice border; Г) Soda crystals on chalky stone]

формировавшимися в прошлом в слое многолетней мерзлоты; 3) особенностями внедрения и заполнения грунтовых структур.

Грунтовые клинья частично заполнены вышележащими отложениями, раздробленными породами и богаты органическим веществом. Так, верхняя расширенная часть жилы обогащена тонкодисперсной меловой мукой, придающей клину белесый оттенок, которая, вероятно, затекла в клин с меловых пятен при весеннем оттаивании. Аналогичные формы в условиях сплошной мерзлоты – результат криогенного растрескивания, а разрушенные породы являются продуктами криогенеза [14]. Пятна и прослои ожелезнения в меловых породах маркируют криогенные водоупоры, а нитевидные включения железа, образующие сетку, могут свидетельствовать о существовании криогенных текстур в прошлом.

Морфологические особенности грунтовых жил позволяют, согласно положению Попова А.И. о

двухъярусном строении грунтовых жил, сделать вывод о глубине сезонного протаивания в период существования мерзлоты и формирования микро-рельефа меловых полигонов. Глубина сезонного протаивания определяется уровнем перехода от расширенного «верхнего яруса» жилы к узкой клиновидной части [13, 14]. Таким образом, глубина сезонного протаивания почв изученного ключевого участка, была незначительной и составляла ~0,4-0,45 м, этой же глубине соответствует нижняя граница криотурбированного горизонта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На территории Подуральского плато в районах близкого залегания верхнемеловых пород встречаются ландшафтные комплексы (крупные меловые полигоны, разделенные межполигональными понижениями), морфология которых указывает на невозможность их образования в современных климатических условиях. Морфология меловых полигонов,

их размер и расположение в плане, форма клиновидных структур, изменение свойств меловых пород по глубине свидетельствуют о роли реликтовых криогенных процессов в их генезисе. Литературные источники подтверждают, что многолетнемерзлые породы существовали в районе исследования в прошлом [3, 5, 11, 18]. Стратиграфическое положение грунтовых структур позволяет считать изученный микрорельеф поздненеоплейстоценовым, сформированным в заключительную поздневалдайскую фазу криогенеза (ярославский криогенный горизонт), самый активный этап которого отвечает времени максимума похолодания 20-10 тыс. лет назад [5, 11]. Он отражает наиболее суровые низкотемпературные условия криоморфогенеза, когда развивались самые мощные ледяные и ледово-грунтовые жилы. Именно в это время позднеплейстоценовая криогенная область Северного полушария достигла своих максимальных размеров. Для ярославского криогенного горизонта была характерна многолетняя мерзлота так называемого «сибирского типа». Этот тип отличается повсеместным развитием мерзлых грунтов, их относительно низкими температурами (как правило, не выше $-3...-5$ °C), широким развитием полигонально-жильных льдов [1, 5].

Таким образом, описанный микрорельеф меловых полигонов – новый изученный тип в ряду форм реликтовой криогенной морфоскульптуры, повсеместно выделенной и изученной Величко А.А. в начале 60-х годов XX века на территории Восточно-Европейской равнины [2, 11]. Изученный микрорельеф хоть и является реликтовым, но не захоронен и хорошо сохранился на местности.

В процессе своего развития и перехода в реликтовое состояние микрорельеф меловых полигонов прошел трехстадийную трансформацию. Первая стадия, соответствовала стабильному положению слоя сезонной и многолетней мерзлоты: основными рельефообразующими процессами, связанными с резким и глубоким промерзанием грунтов, было морозобойное растрескивание с образованием полигонального рельефа и заполнением трещин льдом или грунтом. В пределах реликтового деятельного слоя происходило криотурбирование пород. В результате действия криогенных процессов значительно менялся внешний облик поверхности и внутренняя структура грунтов.

Вторая стадия связана с резкой сменой климатических условий при переходе от неоплейстоцена к голоцену, около 10 тыс. лет назад, в результате которой мерзлота постепенно деградировала. Происходило вытаивание полигонально-жильных

льдов и включений льда в массу грунта. На месте жильного льда возникли вторичные структуры – псевдоморфозы по ледяным жилам или грунтовыми клинья. Шло закрепление («консервация») трещинно-полигонального микрорельефа почвенно-растительным покровом и переход его в реликтовое состояние. Сформировавшийся полигонально-пятнистый микрорельеф с перераспределением вещества внутри блоков привел к усложнению и контрастности почвенного покрова, формированию его комплексности.

Третья стадия – это период существования микрорельефа в реликтовом состоянии, в условиях умеренно-гумидного климата голоцена, под влиянием современных экзогенных процессов. Расположение полигонов на субгоризонтальных и слабонаклонных поверхностях препятствует эрозионному сносу материала склоновыми процессами и в тоже время способствует сохранению полигонально-ячеистой структуры. Активное воздействие на микрорельеф меловых полигонов в настоящее время оказывают криогенные процессы, вызывающие избыточное льдовыделение и пучение меловых пятен на поверхности полигонов и сортировку материала. Можно предположить, что современные сезонные криогенные процессы являются ведущим фактором, препятствующим зарастанию меловых пятен и поддерживающим морфологическую структуру меловых полигонов до настоящего времени. Таким образом, микрорельеф меловых полигонов поддерживается в ежегодных циклах промерзания и оттаивания. Существованию центрального оголенного пятна в полигональных структурах также способствует отсутствие питательных веществ и сильное засоление мелового материала.

Меловые полигоны – уникальные для степной зоны формы микрорельефа, которые сочетают в себе древние и современные мерзлотные признаки и нуждаются в дальнейших мониторинговых исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алифанов В.М., Гугалинская Л.А., Овчинников А.Ю. *Палеокриогенез и разнообразие почв центра Восточно-Европейской равнины*. Москва: ГЕОС, 2010. 178 с.
2. Бердников В.В. *Палеокриогенный микрорельеф центра Русской равнины*. Москва: Наука, 1976. 126 с.
3. Бутаков Г.П. *Плейстоценовый перигляциал Русской равнины*. Казань: Издательство Казанского университета, 1986. 144 с.
4. Величко А.А. Криогенный рельеф позднеплейстоценовой перигляциальной зоны (криолитозоны)

Восточной Европы // *Четвертичный период и его история*, 1965, с. 104-120.

5. Величко А. А. *Природный процесс в плейстоцене*. Москва: Наука, 1973. 256 с.

6. *Географический атлас Оренбургской области* / А. А. Соколов, А. А. Чибилёв, О. С. Руднева и др. Оренбург: Институт степи УрО РАН; РГО, 2020. 160 с.

7. *Геологические памятники природы Оренбургской области* / А. А. Чибилев, Г. Д. Мусихин, В. М. Павлейчик и др. Оренбург: Оренбургское книжное издательство, 2000. 400 с.

8. *Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист М-40 (Оренбург) с клапаном М-41. Объяснительная записка* / П. В. Лядский, Л. Н. Кваснюк, А. В. Жданов и др. Санкт-Петербург: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. 392 с.

9. *Красная книга почв Оренбургской области* / А. И. Климентьев, А. А. Чибилев, Е. В. Блохин, И. В. Грошев. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 295 с.

10. Михно В. Б. *Меловые ландшафты Восточно-Европейской равнины*. Воронеж: Петровский сквер, 1992. 232 с.

11. *Палеокриогенез, почвенный покров и земледелие* / А. А. Величко, В. П. Морозова, О. М. Нечаев, Т. Д. Порожнякова. Москва: Наука, 1996. 150 с.

12. Палеокриогенные полигональные структуры степной зоны Оренбургской области / А. Г. Рябуха,

Д. Г. Поляков, И. В. Ковда и др. // *Материалы всероссийской конференции*, 2020, с. 344-348.

13. Попов А. И. Геологические и геоморфологические условия подмосковного стационара // *Сезонное промерзание грунтов и применение льда для строительных целей*, 1957, с. 156-169.

14. Попов А. И. Грунтовые жилы на севере Западной Сибири // *Вопросы физической географии полярных стран*. Вып. 2, 1959, с. 250-275.

15. *Проблемы геоэкологии и степеведения. Том 2*. Оренбург: ИС УрО РАН, 2010. 364 с.

16. Тараканов А. И., Быкасов В. Е. Стебельковый лёд почвенно-пирокластических отложений // *Вопросы географии Камчатки*, 1985, с. 103-106.

17. Чибилев А. А. *Природное наследие Оренбургской области*. Оренбург: Оренбургское книжное издательство, 1996. 380 с.

18. The Last Permafrost Maximum (LPM) map of the Northern Hemisphere: permafrost extent and mean annual air temperatures, 25-17 ka BP / J. Vandenberghe, H. French, A. Gorbunov et al. // *Boreas*, 2014, vol. 43, no. 3, pp. 652-666. DOI:10.1111/bor.12070

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 29.03.2022

Принята к публикации 05.09.2022

Morphology, Genesis and Contemporary Dynamics of Polygonal Chalky Landscapes in the Itchashkan River Valley

A. G. Ryabukha¹✉, I. D. Streletskaia², D. G. Polyakov¹

¹The Institute of the Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation
(11, Pionerskaya st., Orenburg, 460000)

²Lomonosov Moscow State University, Russian Federation
(1, Leninskie Gory, Moscow, 1119991)

Abstract. The purpose is to study the morphology and modern functioning of the chalky polygons to confirm the role of modern and relict permafrost processes in their origin.

Materials and methods. In order to study the morphology and current functioning of the chalky polygons, ground-truthing and semi-stationary surveys were carried out in summer and winter.

Results and discussion. The morphology of the chalky polygons, their size and location in plan, internal structure, and changes in the properties of chalky rocks with depth indicate the role of cryogenic processes. A set of signs of relict cryogenic processes: polygonal relief with polygon sides of ~5 m, ground wedges, involution and cryoturbation, cryogenic fragmentation in ground wedges, increase in monolithicity of chalk rocks with depth in areas of chalk spots. Set of signs of modern cryogenic processes: fresh microrelief, large amount of chalk flour and traces of frost grading on the surface and along the slope, seasonal ice separation and frost heaving in the central parts of chalk spots under high pre-winter moisture content of rocks.

Conclusions. The data obtained allowed us for the first time to substantiate the paleomorphogenic genesis of the chalky polygons. It has been established that the chalky polygons are a type of relict cryogenic microrelief, formed during the Valday cryochron under conditions of cryoarid climate, permafrost, frost cracking of soils and growth of polygonal vein ice.

Key words: Podural Plateau, chalky sediments, chalky polygons, cryogenic processes, Neopleistocene, frozen cracks, cryoturbations, paleomorphism.

Funding: The article was prepared within the framework of the state task "Problems of steppe nature management in conditions of modern challenges: optimization of interaction of natural and socio-economic systems", RFBR grant № 20-05-00556, No. AAA 21-121011190016-1.

Development Programme of the Lomonosov Moscow State University Interdisciplinary Scientific and Educational School "The Future of the Planet and Global Environmental Change" and the subject of the state task "Cryosphere Evolution under Climate Change and Anthropogenic Impacts" № 121051100164.

For citation: Ryabukha A. G., Streletskaia I. D., Polyakov D. G. Morphology, Genesis and Contemporary Dynamics of Polygonal Chalky Landscapes in the Itchashkan River Valley. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografiya. Geoekologiya*, 2022, no. 3, pp. 57-68 (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2022/3/57-68>

REFERENCES

1. Alifanov V.M., Gugalinskaya L.A., Ovchinnikov A.Yu. *Paleokriogenez i raznoobrazie pochv centra Vostochno-Evropejskoj ravniny* [Paleocryogenesis and soil diversity of the center of the East European Plain]. Moscow: GEOS, 2010. 178 p. (In Russ.)
2. Berdnikov V.V. *Paleokriogennyj mikrorel'ef centra Russkoj ravniny* [Paleocryogenic microrelief of the center of the Russian Plain]. Moscow: Nauka, 1976. 126 p. (In Russ.)
3. Butakov G.P. *Plejstocenovyj periglyacial Russkoj ravniny* [Pleistocene periglacial of the Russian Plain]. Kazan: Izdatel'stvo Kazanskogo universiteta, 1986. 144 p. (In Russ.)
4. Velichko A.A. *Kriogennyj rel'ef pozdneplejstocenovoj periglyacial'noj zony (kriolitozony) Vostochnoj Evropy* [Cryogenic relief of the Late Pleistocene periglacial zone (cryolithozones) Eastern Europe]. *CHetvertichnyj period i ego istoriya*, 1965, pp. 104-120. (In Russ.)

© Ryabukha A. G., Streletskaia I. D., Polyakov D. G., 2022

✉ Anna G. Ryabukha, e-mail: annaryabukha@yandex.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

5. Velichko A.A. *Prirodnyj process v plejstocene* [A natural process in the Pleistocene]. Moscow: Nauka, 1973. 256 p. (In Russ.)

6. *Geograficheskij atlas Orenburgskoj oblasti* [Geographical atlas of the Orenburg region] / A.A. Sokolov, A.A. Chibilyov, O.S. Rudneva i dr. Orenburg: IS UrO RAN; RGO, 2020. 160 p. (In Russ.)

7. *Geologicheskie pamyatniki prirody Orenburgskoj oblasti* [Geological monuments of nature of the Orenburg region] / A.A. Chibilev, G.D. Musihin, V.M. Pavlejchik i dr. Orenburg: Orenburgskoe knizhnoe izdatel'stvo, 2000. 400 p. (In Russ.)

8. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Ural'skaya. List M-40 (Orenburg) s klapanom M-41. Ob'yasnitel'naya zapiska* [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). The Ural series. Sheet M-40 (Orenburg) with valve M-41. Explanatory note] / P.V. Lyadskij, L.N. Kvasnyuk, A.V. Zhdanov, i dr. SPb.: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2013. 392 p. (In Russ.)

9. *Krasnaya kniga pochv Orenburgskoj oblasti* [The Red Book of soils of the Orenburg region] / A.I. Kliment'ev, A.A. Chibilev, E.V. Blohin, I.V. Groshev. Ekaterinburg: UrO RAN, 2001. 295 p. (In Russ.)

10. Mihno V.B. *Melovye landshafty Vostochno-Evropejskoj ravniny* [Cretaceous landscapes of the East European Plain]. Voronezh: Petrovskij skver, 1992. 232 p. (In Russ.)

11. *Paleokriogenez, pochvennyj pokrov i zemledelie* [Paleocryogenesis, soil cover and agriculture] / A.A. Velichko, V.P. Morozova, O.M. Nechaev, T.D. Porozhnyakova. Moscow: Nauka, 1996. 150 p. (In Russ.)

12. *Paleokriogennye poligonal'nye struktury stepnoj zony Orenburgskoj oblasti* [Paleocryogenic polygonal

structures of the steppe zone of the Orenburg region] / A.G. Ryabuha, D.G. Polyakov, I.V. Kovda i dr. *Materialy vserossijskoj konferencii*, 2020. pp. 344-348. (In Russ.)

13. Popov A.I. *Geologicheskie i geomorfologicheskie usloviya podmoskovnogo stacionara* [Geological and geomorphological conditions of the Moscow region hospital]. *Sezonnoe promerzanie gruntov i primenenie l'da dlya stroitel'nyh celej*, 1957, pp. 156-169. (In Russ.)

14. Popov A.I. *Gruntovye zhily na severe Zapadnoj Sibiri* [Ground veins in the north of Western Siberia]. *Voprosy fizicheskij geografii polyarnyh stran. Vol. 2*. 1959, pp. 250-275. (In Russ.)

15. *Problemy geoekologii i stepevedeniya. Tom 2* [Problems of geoecology and steppe studies. Volume 2]. Orenburg: IS UrO RAN, 2010. 364 p. (In Russ.)

16. Tarakanov A.I., Bykasov V.E. *Stebel'kovyj lyod pochvenno-piroklasticheskij otlozhenij* [Stem ice of soil-pyroclastic deposits]. *Voprosy geografii Kamchatki*, 1985. pp. 103-106. (In Russ.)

17. Chibilev A.A. *Prirodnoe nasledie Orenburgskoj oblasti* [Natural heritage of the Orenburg region]. Orenburg: Orenburgskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1996. 380 p. (In Russ.)

18. The Last Permafrost Maximum (LPM) map of the Northern Hemisphere: permafrost extent and mean annual air temperatures, 25-17 ka BP / J. Vandenberghe, H. French, A. Gorbunov et al. *Boreas*, 2014, vol. 43, no. 3, pp. 652-666. DOI:10.1111/bor.12070

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 29.03.2022

Accepted: 05.09.2022

Рябуха Анна Геннадьевна

кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник Института степи Уральского отделения Российской академии наук, г. Оренбург, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-7659-0252, e-mail: annaryabukha@yandex.ru

Стрелецкая Ирина Дмитриевна

кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующая кафедрой криолитологии и гляциологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-5645-8772, e-mail: irinastrelets@gmail.com

Поляков Дмитрий Геннадьевич

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института степи Уральского отделения Российской академии наук, г. Оренбург, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-3344-7709, e-mail: electropismo@yandex.ru

Anna G. Ryabukha

Cand. Sci. (Geogr.), Leading Researcher at the Steppe Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-7659-0252, e-mail: annaryabukha@yandex.ru

Irina D. Streletskaia

Cand. Sci. (Geol. and Miner.), Assoc. Prof., Head of the Department of Cryolithology and Glaciology, Moscow State University named after Lomonosov, Moscow, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-5645-8772, e-mail: irinastrelets@gmail.com

Dmitry G. Polyakov

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher at the Steppe Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-3344-7709, e-mail: electropismo@yandex.ru